

# Perancangan Robot *Auto Line Follower* yang Menerapkan Metode Osilasi Ziegler-Nichols Untuk *Tuning* Parameter PID pada Kontes Robot Indonesia

Bagus Ilyas Setiawan

Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya

Pembimbing : 1. Adharul Muttaqin, ST., MT.

2. Ponco Siwindarto, Ir., M.Eng.Sc.

**Abstrak** - Salah satu jenis robot yang sering digunakan dalam perlombaan seperti Kontes Robot Indonesia adalah robot yang dapat mengikuti garis atau yang sering disebut dengan robot *auto line follower*. Semakin baik robot dalam mengikuti garis maka akan semakin besar peluang keberhasilan robot dalam perlombaan. Untuk membuat robot yang dapat bergerak stabil salah satu caranya yaitu dengan penerapan kontroler PID. Namun cara tersebut juga memiliki kekurangan yaitu proses pencarian parameter PID ( $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ ) yang memakan waktu lama karena menggunakan metode *Trial and Error*.

Skripsi ini menunjukkan bagaimana mengimplementasikan metode Ziegler-Nichols ke dalam mikrokontroler pada sebuah sistem robot *line follower*. Untuk menerapkan metode tersebut dibuat sebuah sistem robot *auto line follower* yang terdiri atas sensor garis sebagai umpan balik PID, mikrokontroler *slave* sebagai pengolah data *tracer*, mikrokontroler *master* untuk menjalankan algoritma PID dan motor DC sebagai aktuator.

Proses *tuning* diawali dengan pemberian parameter  $K_p=0$  kemudian ditingkatkan secara bertahap hingga didapatkan grafik respon PID yang berkesinambungan (periode dan amplitudonya sama). Dari grafik respon tersebut dapat ditentukan besar nilai *critical gain*  $K_{cr}$  dan *critical periode*  $P_{cr}$ . Nilai  $K_{cr}$  dan  $P_{cr}$  digunakan untuk mendapatkan nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  sesuai dengan aturan yang terdapat dalam metode Ziegler-Nichols.

Hasil pengujian *tuning* parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichols didapatkan nilai  $K_p=4,2$ ,  $K_i=10,5$  dan  $K_d=0,42$ . Dengan menggunakan parameter tersebut respon robot menjadi lebih baik dan mendekati *set point*.

**Kata kunci** : robot *auto line follower*, kontrol PID, metode osilasi Ziegler-Nichols.

## I. PENDAHULUAN

Pada perlombaan robot tingkat nasional seperti Kontes Robot Indonesia sangat diperlukan robot pengikut garis yang dapat bergerak secara baik dan stabil. Kestabilan pergerakan ini berpengaruh terhadap keberhasilan dalam pengambilan dan peletakan objek perlombaan. Semakin stabil pergerakan sebuah robot maka semakin tinggi pula tingkat keberhasilannya.

Salah satu cara yang sering digunakan untuk meningkatkan kestabilan sebuah robot adalah pengaplikasian kontrol PID. Kelebihan dari penggunaan kontrol PID adalah mudah diterapkan pada mikrokontroler atau PLC karena rumusnya yang sederhana. Namun PID

juga memiliki kelemahan yaitu kita harus mencari nilai parameter  $K_p$ ,  $K_d$  dan  $K_i$  yang sesuai agar sistem kontrol dapat bekerja dengan baik. Selama ini cara yang sering digunakan untuk mencari nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  adalah dengan metode *Trial and Error*. Metode *Trial and Error* adalah metode mencari nilai parameter dengan cara mencoba-coba suatu nilai tertentu sebagai parameter sampai didapat sebuah performansi kontrol PID yang terbaik. Tentu saja metode ini sangat memerlukan banyak waktu dan tenaga karena perlu mencoba memasukkan banyak nilai sampai didapatkan hasil yang terbaik.

Pada makalah ini akan dicoba mengimplementasikan metode Osilasi Ziegler-Nichols pada proses pencarian parameter PID robot PID. Metode ini dapat mempersingkat waktu pencarian parameter karena menggunakan rumus-rumus sederhana dan proses *trial and error* hanya pada pencarian parameter  $K_p$ .

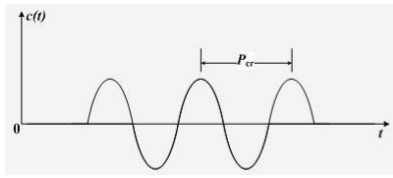
Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan alat diberi batasan sebagai berikut :

- 1) Motor yang dipakai adalah motor DC magnet permanen.
- 2) Robot yang digunakan adalah robot yang digunakan untuk perlombaan KRI dengan spesifikasi yang mengikuti aturan resmi ABU Robocon 2012.
- 3) Robot bersistem gerak 2WD atau torsi dari motor disalurkan ke 2 roda belakang sebelah kanan dan kiri.
- 4) Lapangan pengujian pergerakan robot mengikuti aturan resmi ABU Robocon 2012.
- 5) Jumlah sensor garis yang dipakai 16 buah dengan jarak masing-masing sensor 2,5 cm.
- 6) Sensor garis menggunakan LED *Superbright* warna putih dengan diameter 5 mm.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Metode *Tuning* ke-2 Ziegler-Nichols

Dalam metode kedua Ziegler-Nichols, mula-mula yang dilakukan adalah membuat  $T_i = 0$  dan  $T_d = 0$ . Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis  $K_{cr}$ , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan. Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis  $K_{cr}$  dan periode  $P_{cr}$  dapat ditentukan. Untuk osilasi berkesinambungan dengan periode  $P_{cr}$  ditunjukkan dalam Gambar 1 Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  dan berdasarkan rumus yang ditunjukkan dalam Tabel 1 (Ogata, K., 1997)



Gambar 1. Osilasi berkesinambungan dengan periode  $P_{cr}$   
Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

Tabel 1. Aturan dasar Ziegler-Nichols berdasarkan  $K_{cr}$  dan  $P_{cr}$

Tipe Kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5 K_{cr}$	$\infty$	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.60 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Sumber: Teknik Kontrol Automatik, Katsuhiko Ogata, 1997

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan metode untuk menyelesaikan masalah tersebut.

#### A. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori penunjang sistem yang dibutuhkan dalam perencanaan dan pembuatan alat.

#### B. Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara global ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi alat yang direncanakan adalah sebagai berikut :

- Ukuran dan berat robot mengacu pada aturan resmi ABU Robocon.
- Robot menggunakan sistem penggerak 2WD dengan motor sebagai penggerak roda belakang.
- Jumlah sensor garis yang digunakan berjumlah 16 buah.
- Mikrokontroler ATmega 32 digunakan sebagai MK Master.
- Mikrokontroler ATmega 8 digunakan sebagai MK Slave.
- Modul *Radio Frekuensi* yang digunakan adalah YS-1020.
- Catudaya menggunakan 3 buah baterai 11,1V 2200 mAh (2 untuk catu motor 1 untuk catu rangkaian).

#### C. Perancangan dan Pembuatan Alat

##### 1) Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras

- Pembuatan blok diagram lengkap sistem
- Pembuatan mekanik robot
- Pembuatan dan perhitungan komponen yang akan digunakan
- Merakit perangkat keras masing-masing blok.

##### 2) Perancangan dan Perangkat Lunak

Setelah kita mengetahui seperti apa perangkat keras yang dirancang, maka kita membutuhkan perangkat

lunak untuk mengendalikan dan mengatur kerja dari alat ini. Desain dan parameter yang telah dirancang kemudian diterapkan kedalam Mikrokontroler ATmega32 dengan menggunakan bahasa C dan *compiler* CodeVision AVR.

#### D. Pengujian Alat

Untuk memastikan bahwa sistem ini berjalan sesuai yang direncanakan maka perlu dilakukan pengujian alat meliputi perangkat keras (*hardware*) yang dilakukan baik per blok maupun keseluruhan sistem.

##### 1) Pengujian Tiap Blok

Pengujian per blok dilakukan dengan tujuan untuk menyesuaikan nilai masukan dan nilai keluaran tiap-tiap blok sesuai dengan perancangan yang dilakukan sebelumnya.

##### 2) Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui unjuk kerja alat setelah perangkat keras dan perangkat lunak diintegrasikan bersama.

#### E. Pengambilan Kesimpulan

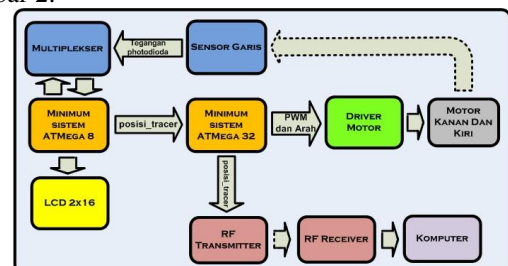
Pengambilan kesimpulan dilakukan setelah didapatkan hasil dari pengujian. Jika hasil yang diperoleh telah sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan maka alat tersebut telah memenuhi harapan dan memerlukan pengembangan untuk penyempurnaannya.

### IV. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini menjelaskan tentang perancangan dan pembuatan robot mulai dari diagram blok sistem, desain mekanik robot, perancangan perangkat keras, dan perancangan perangkat lunak.

#### A. Diagram Blok Sistem

Secara garis besar, diagram blok perancangan *hardware* sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 2.

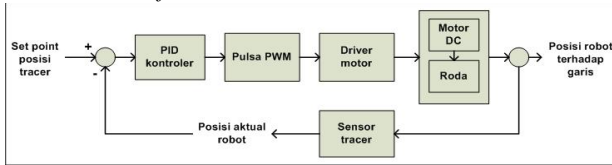


Gambar 2. Diagram blok sistem secara keseluruhan

Input sistem ini berasal dari sensor garis yang terdiri dari 16 buah LED Superbright dan photodiode. Nilai tegangan dari photodiode ini akan berubah-ubah sesuai dengan intensitas cahaya dari LED yang dipantulkan oleh lapangan. Tegangan photodiode ini akan diteruskan ke pin ADC MK slave melalui IC multiplexer 16 input. Di dalam MK slave nilai tegangan photodiode akan dikonversi ke digital dan hasilnya akan ditampilkan pada LCD 2x16. MK master bertugas melakukan perhitungan kontrol PID dan menghasilkan sinyal kontrol berupa PWM untuk men-drive motor. Output Driver akan menjalankan motor kanan dan kiri sesuai dengan nilai PWM dari MK master. Data koordinat tracer dari MK master akan diproses didalam komputer dengan

menggunakan metode Ziegler-Nichols untuk mendapatkan nilai parameter PID (Kp, Ki dan Kd).

Gambar 3 menunjukkan diagram kontrol PID dari robot *auto line follower*.



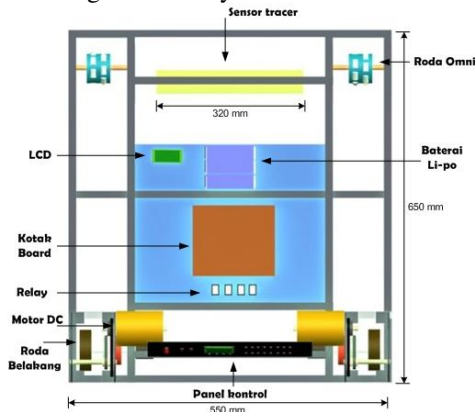
Gambar 3. Diagram blok kontrol PID robot *line follower*

Pada proses *tuning* kontrol PID dengan menggunakan metode osilasi Ziegler-Nichols dimulai dengan memberikan nilai 0 pada parameter Ti dan Td. Sedangkan nilai Kp dinaikkan sedikit demi sedikit hingga didapatkan grafik posisi *tracer* yang berkesinambungan. Kesenambungan yang dimaksud adalah saat grafik memiliki amplitudo yang sama pada setiap periodenya. Setelah didapatkan grafik yang berkesinambungan langkah selanjutnya adalah menghitung nilai Kcr dan Pcr. Kcr adalah nilai Kp saat terjadi osilasi berkesinambungan sedangkan Pcr adalah periode kesinambungan dari grafik. Setelah didapatkan Kcr dan Pcr langkah selanjutnya adalah menghitung nilai Kp, Ti dan Td sesuai dengan aturan dari Ziegler-Nichols.

## B. Perancangan Perangkat Keras

### 1) Perancangan Mekanik Robot

Gambar 4 menunjukkan penampakan robot dari atas beserta dengan ukurannya.

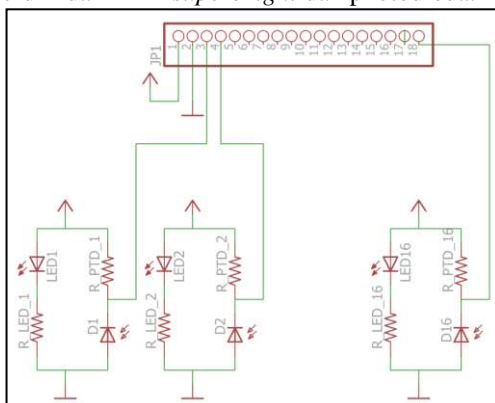


Gambar 4. Rancangan robot tampak atas

### 2) Perancangan Rangkaian Elektrik

#### ✓ Rangkaian Sensor Garis

Gambar 5 menunjukkan rangkaian sensor garis yang terdiri dari LED *superbright* dan photodiode.



Gambar 5. Rangkaian sensor *tracer* 16 buah

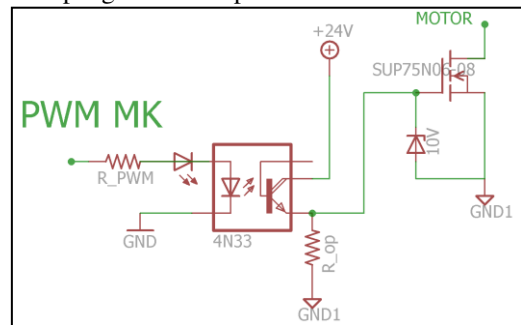
Untuk perancangan nilai resistor LED *superbright* sebagai berikut

$$R_{LED} = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} = \frac{5V - 3V}{20 \times 10^{-3}} = \frac{2V}{20 \times 10^{-3}} = 100 \Omega$$

R\_LED yang digunakan dalam perancangan ini adalah 330 Ω.

#### ✓ Rangkaian Pengontrol Kecepatan Motor

Pada perancangan skripsi ini digunakan komponen E-MOSFET kanal N dengan masukan berupa sinyal PWM dari mikrokontroler. Gambar 6 menunjukkan rangkaian pengontrol kecepatan motor.



Gambar 6. Rangkaian pengontrol kecepatan dengan menggunakan E-MOSFET

Jenis FET yang digunakan adalah IRFZ44N dengan spesifikasi  $V_{DS\ max} = 55V$ ,  $I_{D\ max} = 49A$ ,  $R_{DS\ on\ max} = 22 \Omega$ ,  $V_{GS\ max} = 20V$ ,  $V_{GS\ threshold} = 3V$ .

Untuk aplikasi pengontrol kecepatan motor, FET selalu dikondisikan dalam keadaan saturasi atau *cut off*-nya. Hal ini dimaksudkan agar tidak terlalu banyak daya yang terbuang dalam FET itu sendiri.

Untuk E-MOSFET kanal N syarat agar komponen dalam kondisi *cut off* adalah ketika  $V_{GS} < V_{threshold}$ . Dengan  $V_{threshold}$  IRFZ44N = 3V, maka  $V_{GS\ cut\ off}$  yang digunakan kurang dari 3V.  $V_{GS}$  yang digunakan adalah 0V.

Syarat agar E-MOSFET kanal N dalam kondisi aktif saturasi adalah ketika  $V_{GS} > V_{threshold}$ , dan  $V_{DS} > (V_{GS} - V_{threshold})$ . Menggunakan  $V_{DS}$  sebesar 24V, maka  $V_{GS} < 27V$ . Karena  $V_{GS\ max} = 20V$ , maka  $3V < V_{GS} < 20V$ .  $V_{GS}$  saturasi yang digunakan sebesar 10V. Untuk membatasi  $V_{GS}$  saturasi ini digunakan dioda zener 10V.

Perhitungan nilai resistor untuk tegangan masukan E-MOSFET sebagai berikut

$$R_{op} = \frac{24V - V_{CE\ sat}}{I_C} = \frac{24V - 0,3V}{100 \times 10^{-3} A} = 237 \Omega$$

Nilai R\_op yang digunakan sebesar 330Ω.

$$I_C = \frac{24V - V_{CE\ sat}}{R_{opto}} = \frac{24V - 0,3V}{270} = 8,78 \cdot 10^{-2} = 87,8\ mA$$

Nilai ini masih dibawah nilai arus maksimal keluaran transistor optocoupler sebesar 100 mA. Arus masukan optocoupler  $I_F$  dapat dihitung dengan

$$CTR = \frac{I_c}{I_F} \times 100\%$$

$$I_F = \frac{I_c}{CTR} \times 100\%$$

$$I_F = \frac{87,8 \text{ mA}}{500\%} \times 100\%$$

$$I_F = 17,56 \text{ mA}$$

Jadi arus yang mengalir dalam LED optocoupler sebesar 17,56 mA. Masih lebih besar arus maksimal output mikrokontroler yang sebesar 20 mA. Untuk perancangan nilai resistor LED optocoupler sebagai berikut

$$R_{PWM} = \frac{V_A - V_F}{I_{OH}}$$

$$= \frac{5V - 1,2V}{17,56 \times 10^{-3}}$$

$$= \frac{3,8V}{17,56 \times 10^{-3}}$$

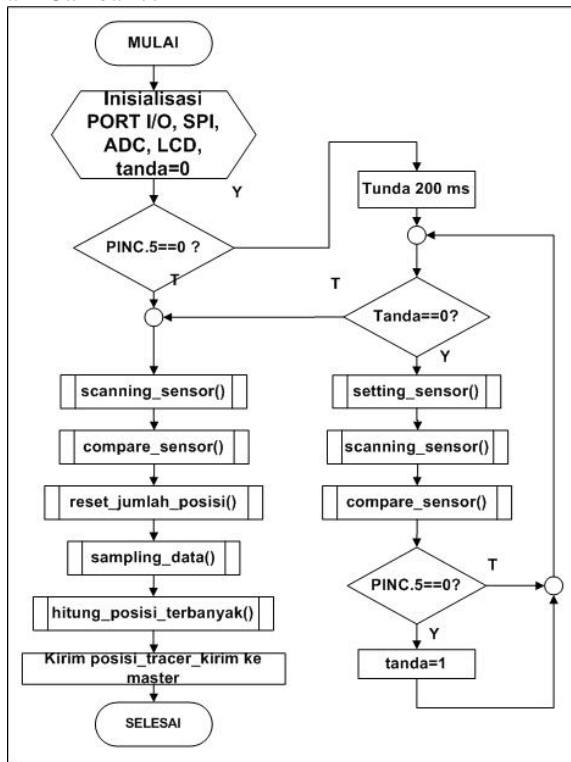
$$= 216,4 \Omega$$

$R_{led}$  yang digunakan dalam perancangan ini adalah 330  $\Omega$ .

### 3) Perancangan Perangkat Lunak

#### ✓ Perancangan Program Mikrokontroler *Slave*

Diagram alir program utama *slave* ditunjukkan dalam Gambar 7.

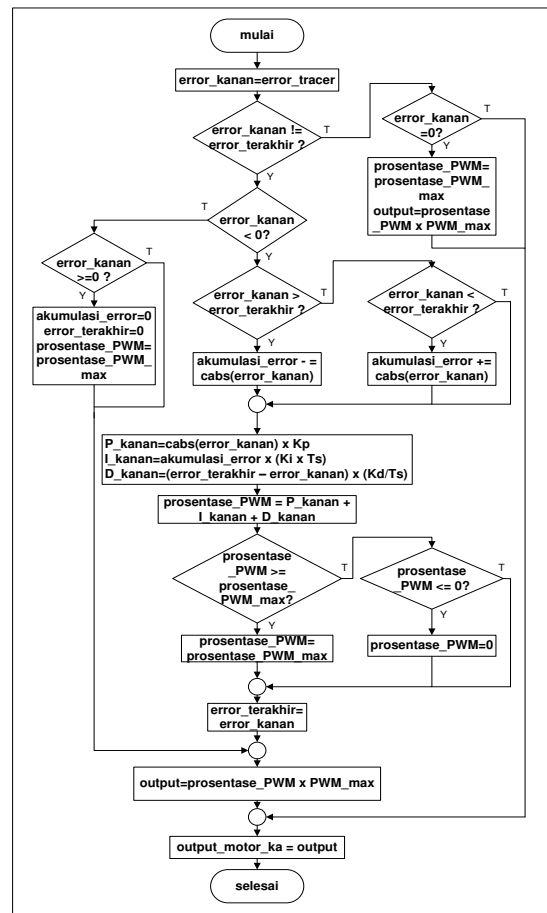


Gambar 7. Diagram alir program utama *slave*

#### ✓ Perancangan Subrutin *PID\_tracer\_ka()*

Subrutin *hitung\_PID\_tracer\_ka()* dan *hitung\_PID\_tracer\_ki()* berisi *listing* program untuk proses perhitungan kontroler PID.

Untuk subrutin *hitung\_PID\_tracer\_ki()* *listing* sama dengan *hitung\_PID\_tracer\_ka()* hanya nilai *error\_kiri* = -*error\_tracer*. Gambar 8 menunjukkan diagram alir subrutin *hitung\_PID\_tracer\_ka()*.



Gambar 8. Diagram alir subrutin *hitung\_PID\_tracer\_ka()*

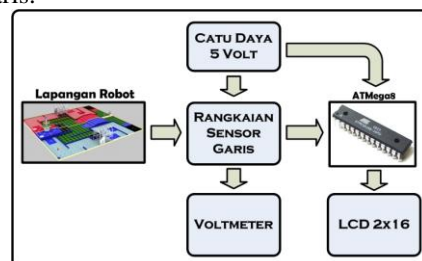
## V. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini akan membahas pengujian dan analisis alat yang telah dirancang dan direalisasikan. Pengujian dilakukan pada tiap-tiap blok dengan tujuan untuk mengamati apakah tiap blok rangkaian sudah sesuai dengan perancangan, baru kemudian dilanjutkan dengan pengujian keseluruhan sistem. Pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

- 1) Pengujian sensor garis dan ADC MK
- 2) Pengujian rangkaian multiplexer
- 3) Pengujian rangkaian *Driver Motor relay*
- 4) Pengujian *tuning* parameter PID (keseluruhan sistem).

### A. Pengujian Sensor Garis dan ADC MK

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kesalahan dari sensor garis dan MK dalam mendeteksi warna lapangan robot yang terdiri atas warna putih, hijau, biru dan merah. Gambar 9 adalah diagram blok pengujian sensor garis.



Gambar 9. Diagram blok pengujian sensor garis

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan keluaran photodiode ke pin ADC MK. Pengujian juga dilakukan pada satu kanal ADC yang digunakan dalam perancangan yaitu pin ADC0 dengan resolusi 10 bit. Dengan membandingkan nilai terbaca ADC dengan nilai berdasarkan teori, maka akan didapatkan nilai kesalahan dari ADC. Untuk menghitung nilai tegangan hasil konversi dan persentase kesalahan digunakan persamaan di bawah ini. Tabel 2 menunjukkan hasil dari pengujian untuk ADC kanal 0 resolusi 10 bit pada lapangan berwarna putih, hijau, merah dan biru secara berturut-turut.

$$ADC \text{ teori} = \frac{\text{Nilai } V \text{ terbaca}}{\text{Nilai } V \text{ referensi}} \times \text{Nilai ADC maksimum}$$

$$\text{Kesalahan} = \frac{\text{Selisih ADC terbaca dan nilai ADC teori}}{\text{Nilai ADC teori}} \times 100\%$$

Dimana : V referensi = 3 volt (sedikit di atas V maksimal photodiode). Nilai ADC maksimum =  $2^{(\text{resolusi})} - 1$ .

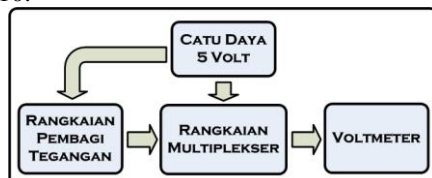
Tabel 4. Hasil pengujian sensor garis dan ADC MK

No	Warna	Kesalahan
1	Putih	0,89%
2	Hijau	0,14%
3	merah	0,15%
4	Biru	0,22%
Rata-rata kesalahan		0,35%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapat bahwa rata-rata kesalahan sebesar 0,35 %.

## B. Pengujian Rangkaian Multiplekser

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kesalahan dari IC multiplekser 4067 dalam meneruskan tegangan sensor ke mikrokontroler. Diagram blok pengujian rangkaian multiplekser ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Diagram blok pengujian rangkaian multiplekser

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian dari IC multiplekser 1x16. Untuk menghitung nilai kesalahan digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kesalahan} = \frac{\text{Selisih antara } V_{out} \text{ dan } V_{in} \text{ multiplekser}}{V_{in} \text{ multiplekser}} \times 100\%$$

Tabel 3. Hasil pengujian rangkaian Multiplekser 4067

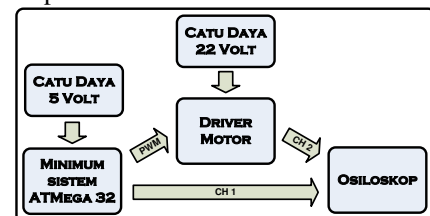
No	S <sub>3</sub> S <sub>2</sub> S <sub>1</sub> S <sub>0</sub>	Tegangan masukan Y <sub>n</sub> (Volt)	Tegangan keluaran Z (Volt)	Kesalahan (%)
1	0000	3,72	3,71	0,29
2	0001	3,032	3,03	0,066
3	0010	3,4	3,395	0,15
4	0011	3,89	3,88	0,26
5	0100	3,42	3,418	0,06
6	0101	3,233	3,231	0,062
7	0110	3,8	3,79	0,26
8	0111	3,554	3,551	0,08
9	1000	3,32	3,317	0,09
10	1001	3,502	3,498	0,11
11	1010	3,467	3,465	0,06
12	1011	3,329	3,326	0,09

13	1100	3,331	3,33	0,03
14	1101	3,475	3,473	0,057
15	1110	3,421	3,418	0,087
16	1111	3,213	3,211	0,06
Rata-Rata Kesalahan				0,11

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapat bahwa rata-rata kesalahan yang terjadi adalah 0,11 %. Hal ini menunjukkan bahwa IC multiplekser 4067 dapat bekerja dengan baik dan bisa diaplikasikan pada robot *line-follower*.

## C. Pengujian Rangkaian Driver Motor Relay

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon dari *driver* motor *relay* terhadap sinyal masukan dari mikrokontroler dan menguji sinyal keluaran dari *driver* motor *relay* terhadap sinyal PWM yang diberikan oleh mikrokontroler. Prosedur yang harus dilakukan, yaitu prosedur untuk pengujian respon *driver* terhadap sinyal masukan (*duty cycle*) PWM dari mikrokontroler. Diagram blok pengujian *driver* motor terhadap sinyal PWM ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram blok pengujian *driver* motor terhadap sinyal PWM

Hasil pengujian untuk respon *driver relay* terhadap masukan sinyal PWM dari mikrokontroler dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian respon rangkaian *driver E-MOSFET* kanal N terhadap masukan sinyal PWM

Duty Cycle PWM MK	Duty Cycle keluaran driver (ideal)	Duty Cycle keluaran driver (pengukuran)	Selisih Duty Cycle keluaran
0%	0%	0%	0%
10%	10%	10,9%	0,9%
20%	20%	30,5%	10,5%
30%	30%	45,3%	15,3%
40%	40%	56,7%	16,7%
50%	50%	67,4%	17,4%
60%	60%	77,8%	17,8%
70%	70%	89,8%	19,8%
80%	80%	92,7%	12,7%
90%	90%	100%	10%
100%	100%	100%	0%

Berdasarkan Tabel 4 pada setiap pengujian terdapat selisih *duty cycle* keluaran rata-rata sebesar 14%. Hal ini disebabkan karena akumulasi *delay* yang terjadi pada seluruh rangkaian, yaitu pada rangkaian *optocoupler*, dan E-MOSFET kanal N. Tampak juga bahwa keluaran rangkaian memiliki *duty cycle* 100% ketika *duty cycle* PWM MK 90%. Dengan demikian dapat disarankan agar dalam perancangan *software* robot menggunakan PWM maksimal 230 (90%) saja.

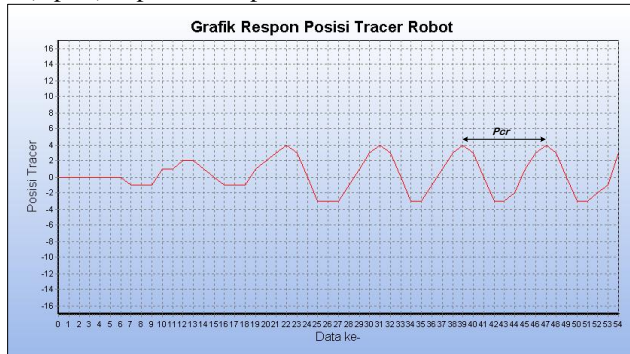
## D. Pengujian Tuning Parameter PID (Keseluruhan Sistem).

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mencari nilai parameter kontrol PID (K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub> dan K<sub>d</sub>) dengan menggunakan metode Osilasi Ziegler-Nichols dan untuk



melihat apakah metode tersebut bisa diterapkan pada robot *line-follower*.

Hasil pengujian untuk respon posisi tracer robot dengan menggunakan kontroler proporsional dengan nilai 7 ( $K_p=7$ ) dapat dilihat pada Gambar 12.

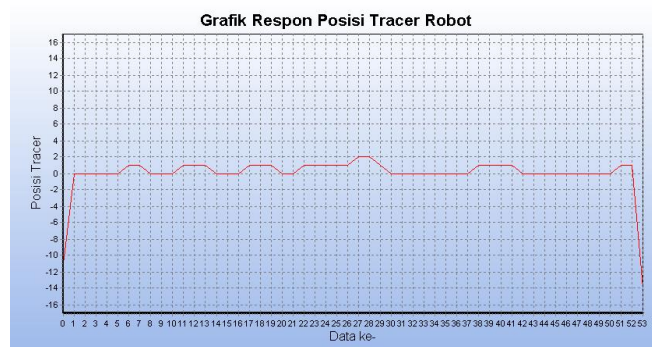


Gambar 12. Grafik respon posisi tracer robot saat terjadi osilasi kesinambungan dengan  $K_p=7$

Terlihat bahwa pada saat kontroler proporsional bernilai 7 robot dapat membentuk osilasi berkesinambungan. Respon sistem menampilkan data setiap 0,1 detik. Sehingga dari gambar respon posisi tracer robot di atas dapat dihitung nilai  $K_{cr}$  dan  $P_{cr}$  yaitu sebagai berikut

- $K_{cr} = 7$
- $P_{cr} = (47 - 39) \times \text{Time Sampling} = 8 \times 0,1 \text{ s} = 0,8 \text{ s}$
- $K_p = 0,6 \times K_{cr} = 0,6 \times 7 = 4,2$
- $T_i = 0,5 \times P_{cr} = 0,5 \times 0,8 \text{ s} = 0,4 \text{ s}$
- $T_d = 0,125 \times P_{cr} = 0,125 \times 0,8 \text{ s} = 0,1 \text{ s}$
- $K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{4,2}{0,4} = 10,5$
- $K_d = K_p \times T_d = 4,2 \times 0,1 = 0,42$

Hasil pengujian respon posisi tracer robot dengan menggunakan nilai parameter  $K_p=4,2$ ,  $K_i=10,5$  dan  $K_d=0,42$  dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik respon posisi tracer robot dengan  $K_p=4,2$ ,  $K_i=10,5$  dan  $K_d=0,42$

Dari hasil pengujian pada gambar 13 terlihat bahwa dengan menggunakan kontroler PID robot dapat bergerak dengan baik. Terbukti dari grafik respon posisinya yang selalu mendekati *set point* atau sumbu 0. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa metode osilasi Ziegler-Nichols dapat diterapkan pada proses *tuning* parameter PID robot *auto-line follower*. Sehingga proses *tuning* parameter PID bisa dilakukan lebih singkat tanpa perlu *trial and error* parameter  $K_i$  dan  $K_d$ .

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

- 1) *Error* / kesalahan konversi ADC tegangan photodiode saat terkena pantulan cahaya warna putih, hijau, biru dan merah masing-masing adalah sebesar 0,89%, 0,14%, 0,15% dan 0,22%.
- 2) *Driver relay* dapat difungsikan sebagai pengatur arah dari motor dan respon rangkaian pengontrol kecepatan E-MOSFET terdapat pergeseran sebesar 14% antara keluaran *driver* dengan masukan PWM MK. Selain itu keluaran *driver* mencapai *duty cycle* ketika masukan PWM dari MK 90%.
- 3) Dari hasil pengujian, didapatkan parameter kontrol  $K_p=4,2$ ,  $K_i=10,5$  dan  $K_d=0,42$ . Terlihat bahwa penerapan metode osilasi Ziegler-Nichols mampu mempercepat proses *tuning* parameter PID karena proses *Trial and Error* hanya dilakukan pada parameter  $K_p$  saja

### B. Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah.

1. Perlu adanya studi lanjut mengenai rangkaian *driver* motor yang mempunyai respon keluaran linier terhadap masukan sinyal PWM.
2. Untuk kedepannya metode osilasi Ziegler-Nichols bisa langsung ditambahkan kedalam program MK robot. Sehingga proses *tuning* bisa lebih cepat lagi tanpa harus ditampilkan grafik respon posisi tracer terlebih dahulu.

## VII. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Atmel. 2007. *8-bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash ATmega32* <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/atmel/2486> S.pdf. Diakses tanggal 28 Agustus 2012.
- [2] Atmel. 2007. *8-bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash ATmega8* <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/atmel/2484> S.pdf. Diakses tanggal 28 Agustus 2012.
- [3] Fahmizal. 2010. *Merancang Robot Line Follower dengan Multiplekser-ADC*. <http://fahmizaleeits.wordpress.com/2010/09/02/robot-line-follower-dengan-multiplekser-adc>. Diakses tanggal 30 Mei 2012.
- [4] Hanapi, Gunawan (penerjemah) Malvino A. P. 1996 *Prinsip-Prinsip Elektronika, Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- [5] Heryanto, Wisnu. 2010. *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATmega 8535*. Yogyakarta: Andi.
- [6] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- [7] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*. Jakarta. Penerbit Erlangga.